

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年7月20日 (20.07.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/075594 A1(51) 国際特許分類:
G06T 7/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/300180

(22) 国際出願日: 2006年1月11日 (11.01.2006)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2005-003985 2005年1月11日 (11.01.2005) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 幡生 敦史 (HATABU, Atsushi) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山下 稔平 (YAMASHITA, Johei); 〒1050001 東京都港区虎ノ門五丁目13番1号虎ノ門4 O M Tビル 山下国際特許事務所 Tokyo (JP).

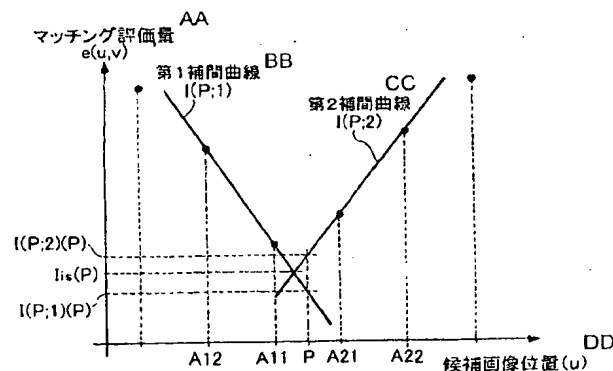
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AF, AG, AI, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

/ 続葉有 /

(54) Title: TEMPLATE MATCHING METHOD AND DEVICE, AND RECORDING MEDIUM WHERE PROGRAM THEREFOR IS RECORDED

(54) 発明の名称: テンプレートマッチングのための方法、その装置及びそのためのプログラムを記録した記録媒体



AA... MATCHING EVALUATION VALUE
 BB... FIRST INTERPOLATION CURVE
 CC... SECOND INTERPOLATION CURVE
 DD... CANDIDATE IMAGE POSITION (u)

(57) Abstract: A template matching method with low computational complexity and high detection accuracy. Computation of the similarity between a template image area and a reference image area is carried out at space positional intervals. The similarity at a position where no similarity is computed is estimated by interpolation from the similarities computed at around positions, thus reducing the degradation of the detection accuracy to a minimum level and simultaneously lowering the computation complexity. In this case, estimates made by using the slope of the similarities independently determined in different directions. As a result, even if the slope of the similarity changes, as shown in Figure 1, greatly at a local minimum point, the estimate has a high accuracy. A threshold is determined on the basis of the similarity computed for the image obtained by shifting the template image in the same or opposite direction as or to the interpolation direction and the template image, and the difference between the estimated similarity and the similarity at an around position is limited so as not to exceed the threshold, thus preventing erroneous detection due to noise inclusion in the input image.

/ 続葉有 /



IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 計算量が少なく検出精度の高いテンプレートマッチング方法を提供する。テンプレート画像領域と参照画像領域の類似度の計算を疎な位置間隔で実行し、類似度が計算されない位置における類似度を、周囲の位置に対して計算された類似度から補間推定することで、検出精度の低下を最小限に抑えながら計算量を削減する。このとき、複数の方向別に独立して求められた類似度の勾配を利用して推定を行うことで、図1のように類似度の勾配が極小点で大きく変化する場合においても、精度の良い推定を実現する。さらに、テンプレート画像を補間方向と同一、もしくは反対方向にずらした画像と、テンプレート画像との間で計算される類似度をもとに閾値を定め、推定される類似度と周囲の類似度の差が、閾値を超えないように制限することで、入力画像へのノイズ混入による誤検出を防ぐ。

明 細 書

テンプレートマッチングのための方法、その装置及びそのためのプログラムを記録した記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、参照画像上からテンプレート画像領域に類似する画像領域の位置を検出するテンプレートマッチング方法及びその装置に関するものである。

背景技術

[0002] テンプレートマッチングは、テンプレート画像領域への相関が最も高い画像領域を参照画像上から検出する処理である。テンプレートマッチングは、類似画像検索や物体追跡、動画像符号化における動きベクトル検出処理等で利用されている。

[0003] テンプレートマッチングの従来技術に関しては、非特許文献1の6章が詳しい。

[0004] 1. テンプレートマッチング手法として、マッチング候補となる参照画像上の部分領域(参照画像領域)とテンプレート画像との差異を表す類似度を定義し、類似度を最小化する参照画像領域を求める方法が一般的である。類似度としては、例えば、参照画像領域とテンプレート画像の各画素の信号値差分の平均値(MAD:Mean Absolute Difference)、信号値差分の2乗の平均値(MSE:Mean Square Error)などを用いる。

[0005] このようなテンプレートマッチングの基本的な手法として、類似度を全候補に対して計算し、それを最小化する参照画像領域を検出する手法は、全探索法と呼ばれている。全探索法は、類似度を最小化する参照画像領域を誤りなく検出することが可能であるが、計算量の観点では非常に効率が悪い。

[0006] テンプレートマッチングの計算量を効率良く削減する従来技術として、多段探索法あるいは粗密探索法と呼ばれる手法が広く使われている。これは、テンプレートマッチング処理を複数の段に分け、その1段目では、類似領域候補となる参照画像領域の位置を疎な間隔で間引いて評価することで画像領域を広く粗く探索し、2段目以降のマッチングでは、前段で選択された画像領域周辺のみを狭く細かく探索することで、段階的に類似領域候補を絞りこむ手法である。

- [0007] 図2は多段探索法の一例を示す模式図である。図中の升目模様は、マッチング候補となる参照画像領域の座標を示している。この例では、テンプレートマッチング処理を2段階に分けて実行する。1段階では、図2において1でラベルされた参照画像領域の類似度を計算し、評価値を最小化する画像領域を類似画像領域として選択する。図2における丸で囲まれた1で示す参照画像領域が選択されたとすると、次の2段階では、図2において2でラベルされた参照画像領域の類似度を計算し、丸で囲まれた1および2でラベルされた参照画像領域の中で類似度を最小化するものを、類似画像領域として選択する。
- [0008] この例では、 $15 \times 15 = 225$ 個の参照画像領域がマッチング候補となっているため、全探索法でマッチング処理を行うと225回の類似度計算が必要である。これを、多段探索法を利用することで、1段階目で $7 \times 7 = 49$ 回、2段階目で8回、合計57回まで削減することができる。
- [0009] なお、実用的には、多段探索法の計算量を更に削減するために、前の段のマッチングで、低解像度に縮小された参照画像とテンプレート画像を用いる方法が良く利用される。例えば、図1の例の1段階目において、水平垂直ともに $1/2$ に縮小された解像度を持つ画像を用いて類似度を計算すると、類似度計算1回の計算量が約 $1/4$ になるため、単純な多段探索法より計算量を削減可能である。
- [0010] しかしながら、多段探索法は、マッチングが精度良く行われる前提条件として、類似度が参照画像領域の位置に対して滑らかに変化する性質を仮定している。このため、細かい絵柄やエッジを多く含む画像、ノイズを多く含む画像を入力すると、この前提が成立せず、1段階目のマッチングで類似度が小さくない画像領域を検出することがある。
- [0011] 図3に誤検出例を示す。グラフはテンプレート画像と参照画像から得られる類似度を表している。この例では、類似度の極小点が2つ存在し、その右側が最も類似する正解の参照画像領域に対応する。左側の極小点は、右側に比べると類似性のあまりない局所的な最小点であるとする。この例に対し多段探索法を適用し、1段階目マッチングにおける類似度計算を、折れ線内の大きい黒丸が示す位置だけに限定すると、局所的な最小点に過ぎない左側の極小点が誤って検出される。

- [0012] このような誤検出は、類似度の極小点が2つ以上存在し、最小点をとる類似度の計算が間引かれる場合に発生しやすい。特に、MADのように、各画素の差分の合計を含む類似度を用いると、図3のように、極小点から少しはずれるだけで類似度が大きくなるが多いため、誤検出率が高くなる。
- [0013] このような検出誤りを防ぐためには、1段目で類似度を計算する参照画像領域の間隔を小さくするか、1段目で選択するマッチング画像領域を複数個にして、2段目で複数の画像領域周辺でマッチングを行うのが、本質的な対策である。しかしながら、類似度の計算回数が大きく増加するため、計算量の観点からは現実的でない。
- [0014] 類似度計算の回数を増やさずに、1段目マッチングの精度を向上させる方法として、疎な位置間隔で計算された類似度から、間の位置における類似度を補間推定する方法が考えられている。例えば、非特許文献2のパラメトリックテンプレート法は、相関係数を2次形式の連続関数で表現して補間することで、多段探索の1段目の検出精度を向上させる。ただし、この手法は、類似度が相関係数に限定される制約がある。また、補間に必要な行列計算の負荷が問題になることもある。
- [0015] 類似度を補間する方法として知られている、等角フィッティング、パラボラフィッティングと呼ばれる類似度の補間手法を、多段探索法の1段目で利用する方法も考えられる。等角補間とパラボラ補間は、計算された3点の類似度に対し、極小点を中心に対称な折れ線、もしくは対称な放物線を当てはめることで、3点間の類似度を連続に補間する(図14)。これらは、入力画像の解像度よりも高い精度で位置推定を行う、サブピクセル推定と呼ばれる問題で使われており、一度、整数画素精度で類似画像の位置を求めた後に、その位置を高精度化するために利用されている(非特許文献3)。しかし、多段探索で誤検出が起こるような状況では、テンプレート画像のきめ細かさに対して類似度の計算間隔が不十分であったり、ノイズを多く含んでいたり、類似度が極小点で対称にならないことが多い。このような場合においても、局所最小解に落ち込むことの少ない類似度推定方法が必要である。

非特許文献1: A Murat Tekalp, "Digital Video Processing," Prentice Hall PTR, 1995

非特許文献2: K. Tanaka, M. Sano, S. Ohara, M. Okudaira, "A parametric template

method and its application to robust matching," in Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2000.

非特許文献3: Masao Shimizu and Masatoshi Okutomi, "Significance and Attributes of Sub-Pixel Estimation on Area-Based Matching", Systems and Computers in Japan, Vol.34, No.12, pp.1-10, November 2003.

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0016] 前述したように、全探索法によるテンプレートマッチングは類似度計算に要する計算量が大きい。多段探索法を用いると、全探索法よりも計算量を削減することが可能であるが、細かい絵柄やエッジを多く含む画像、あるいはノイズを多く含む画像に対して、1段目マッチングで誤った画像領域を検出する問題がある。その誤検出を防ぐための類似度補間手法も十分な精度とは言えない。

[0017] そこで、本発明の目的は、少ない計算量で高い検出精度を備えるテンプレートマッチング方法及びその装置を提供することにある。特に、多段探索法の1段目マッチングのように、類似度計算の位置間隔を疎にすることで計算量を削減する場合においても、計算されない位置における類似度を精度良く推定し、誤検出確率を小さく抑えるテンプレートマッチング方法及びその装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0018] 本発明によれば、参照画像上から、テンプレート画像領域に類似する画像領域の位置を検出するテンプレートマッチング方法であって、前記テンプレート画像領域に対する前記画像領域の類似度を疎な位置間隔で計算し、前記類似度が計算されない位置における類似度を、前記計算された類似度から、複数の方向別に独立に求められる類似度の勾配を利用して推定し、前記類似度の計算値もしくは推定値が小さい位置を、類似する画像領域の位置とすることを特徴とする、テンプレートマッチング方法が提供される。

[0019] 上記のテンプレートマッチング方法において、前記類似度推定において、前記計算された類似度に加え、その時点までに推定された類似度を利用して、類似度を推定するようにしてもよい。

- [0020] 本発明によれば、多段探索法にもとづいて類似画像領域の位置を段階的に絞り込むテンプレートマッチング方法であって、その最終段以前の探索段において、上記のテンプレートマッチング方法で類似画像領域の位置を検出することを特徴とする、テンプレートマッチング方法が提供される。
- [0021] 上記のテンプレートマッチング方法において、前記類似度推定値と、前記推定に利用する周囲の類似度との差又は前記類似度の勾配が、閾値を超えないように、前記類似度推定値の値域を制限するようにしてもよい。
- [0022] 上記のテンプレートマッチング方法において、類似度を推定する位置から、前記近傍画像領域の位置を引くことで得られる推定方向ベクトルに対して、前記テンプレート画像領域を前記推定方向ベクトルと同じもしくは反対の方向に動かして得られる画像領域と、前記テンプレート画像から計算される類似度の大小をもとに、前記閾値を決定するようにしてもよい。
- [0023] 上記のテンプレートマッチング方法において、前記類似度推定において、直線上に順に位置する5個の参照画像領域A、B、C、D、Eに対して、前記画像領域A、Bにおける類似度から、勾配連続性を仮定して外挿される補間値と、前記画像領域D、Eにおける類似度から、勾配連続性を仮定して外挿される補間値とから、前記位置Cにおける類似度を推定することを特徴とするようにしてもよい。

発明の効果

- [0024] 本発明は、少ない計算量で検出精度の高いテンプレートマッチング方法を提供する効果がある。

図面の簡単な説明

- [0025] [図1]本発明の類似度推定方法を説明する模式図
[図2]従来の多段探索法に基づくテンプレートマッチング手法を説明する模式図
[図3]従来の多段探索法の問題点と本発明の効果を示す模式図
[図4]テンプレート画像、参照画像、参照画像領域の関係を示す模式図
[図5]本発明の実施形態において参照画像領域を分類する方法の例を示す模式図
[図6]本発明の実施形態の構成を示すブロック図
[図7]本発明の実施形態の処理手順を示すシーケンス図

[図8]本発明の実施形態において類似度補間に用いる参照画像領域の位置を示す模式図

[図9]本発明の実施形態において丸め閾値計算の意味を説明する模式図

[図10]本発明の実施例において参照画像領域を分類する方法を示す模式図

[図11]本発明の実施例の構成を示すブロック図

[図12]従来例と本発明の実施例の計算量比較を示す表

[図13]本発明の実施例を動き推定処理に適用した結果を示すグラフ

[図14]等角補間とパラボラ補間の例を示す図である。

符号の説明

- [0026] 601 参照画像記憶
 602 テンプレート画像記憶
 603 類似度計算
 604 類似度最小化候補検出
 605 丸め閾値決定
 606 類似度推定
 607 類似度記憶変数

発明を実施するための最良の形態

- [0027] 以下、図面を参照して本発明を実施するための最良の形態について詳細に説明する。

[0028] <実施形態1>

本発明の第1実施形態を説明する。図4は、説明に用いる関数、変数、座標の関係を示したものである。 $S(i, j)$ はテンプレート画像、 $W(i, j)$ は参照画像を示す。 (i, j) は画像内の座標であり、この実施形態では整数値をとるとする。マッチング候補となる参照画像領域の位置を、参照画像 $W(i, j)$ 内の座標 (u, v) で表す。この実施形態で、 (u, v) は整数値をとるとする。

[0029] [マッチング評価基準]

テンプレート画像と、参照画像領域 (u, v) の類似度を $e(u, v)$ で表す。 $e(u, v)$ は、 $e(u, v)$ が小さいほど参照画像領域 (u, v) がテンプレート画像に類似していることを

示すとする。本実施形態におけるテンプレートマッチングは、 $e(u, v)$ が小さい参照画像領域 (u, v) を検出する処理である。

- [0030] 数式1に示す $e_{MAD}(u, v)$ は、類似度 $e(u, v)$ の具体例である。 $e_{MAD}(u, v)$ は、2画像領域間の距離を画素信号の差分絶対値平均で表した量であり、MAD(Mean Absolute Difference)と呼ばれる。数式1において、集合 R は平均をとる画素の集合を示し、 $|R|$ は集合 R の要素数を表す。

[数1]

$$e_{MAD}(u, v) = \frac{1}{|R|} \sum_{(i, j) \in R} |S(i, j) - W(u + i, v + j)|$$

- [0031] [マッチング処理の概要]

一般に $c(u, v)$ の計算は、 R に含まれる画素の個数分のだけ差分計算を要するため、これを何回も繰り返すと計算量が大きくなる。そこで本発明では、マッチング候補として与えられた参照画像領域の一部に対してのみ、類似度 $e(u, v)$ を計算することで、マッチング処理の計算量を削減する。その代わり、類似度の計算を省略した位置に関しては、計算された類似度から補間することで推定し、検出精度の低下を防ぐ。

- [0032] 説明のため、参照画像領域 (u, v) の類似度を周囲の類似度から推定した結果を $estimate_c(u, v)$ で表す。類似度 $c(u, v)$ を、計算して得られた結果もしくは推定して得られた結果を $calc_e(u, v)$ で表す。

- [0033] 類似度を実際に計算する参照画像領域 (u, v) の集合を、 $G(1)$ で表す。類似度を計算せずに推定する参照画像領域 (u, v) を、推定処理の実行順で番号付けられた $(K-1)$ 個の集合 $G(2)$, $G(3)$, ..., $G(K)$ に分類する。このとき、同一の集合 $G(k)$ に属する参照画像領域 (u, v) は、同じ方法で類似度の推定がなされるとする。

- [0034] 類似度を計算する候補 $G(1)$ の選び方については様々な方法があるが、多段探索法の1段目マッチングと同様に、探索範囲内の参照画像領域を疎な密度で網羅でき

るように間引いて選ぶのが好適である。類似度を推定する候補の分類は $G(2)$, $G(3)$, ..., $G(K)$ は、 $G(1)$ に属する画像領域との相対的な位置関係から決めるのが好適である。

[0035] 図5の(a), (b), (c)は、マッチング候補を $G(1)$, $G(2)$, ..., $G(K)$ に分類する方法を例示した図である。図中の格子模様は参照画像領域の座標 (u, v) を示し、格子1マスが座標1画素分に相当するとする。1とラベルされた参照画像領域 (u, v) は、 $G(1)$ に属するとし、同様に2、3、4とラベルされた参照画像領域 (u, v) は、 $G(2)$, $G(3)$, $G(4)$ に属するとする。数字が書かれていないマスに対応する画像領域はマッチング候補から除外する。

[0036] 図5(a)の例では、「1」とラベルされた領域が縦横2画間隔で配置されている。これらの「1」に対し類似度を計算する。次に、「1」と「1」に横方向で挟まれた「2」の類似度を推定し、「1」と「1」に縦方向で挟まれた「3」の類似度を推定し、最後に「4」の類似度を推定する。図5(b)と(c)の例では、「1」とラベルされた領域が横2画間隔で配置されている。最初に「1」の類似度を計算し、次に「2」と書かれた残りの候補の類似度を推定する。

[0037] 図6は、第1実施形態におけるテンプレートマッチング方法を示すブロック図である。参照画像 $W(i, j)$ 、テンプレートデータ $S(i, j)$ は、外部から画像記憶601、602に入力される。603は、 $G(1)$ に属するマッチング候補 (u, v) の類似度 $e(u, v)$ を計算し、得られた結果を $\text{calc_}e(u, v)$ として配列記憶607に格納する。605は、テンプレート画像 $S(i, j)$ から補間値丸め用の閾値 $\text{clip_thresh}(du, dv)$ を計算し、結果を606に供給する。606は、607に記憶された類似度 $\text{calc_}e(u, v)$ と、605で計算された丸め閾値から、 $G(2)$, ..., $G(K)$ に属する (u, v) の類似度を推定し、結果 $\text{estimate_}e(u, v)$ を $\text{calc_}e(u, v)$ として記憶607に格納する。603と606が出力する $\text{calc_}e(u, v)$ は、604にも出力され、604は $\text{calc_}e(u, v)$ を最小化する候補 (u^*, v^*) を、テンプレートマッチングの検出結果として外部に出力する。

[0038] 第1実施形態におけるテンプレートマッチング処理の流れを示したのが、図7である。S701において、参照画像の集合 $G(1)$ に属する参照画像領域 (u, v) に対し、類似度 $e(u, v)$ を計算し、結果 $\text{calc_}e(u, v)$ を記憶する。 $\text{calc_}e(u, v)$ を最小化す

る(u, v)の検出も同時に行う。次にS702において、類似度の補間推定に用いる丸め閾値clip__thresh(du, dv)を計算し、結果を変数に記憶する。S703からS705において、G(1), G(2), ..., G(K)に属する(u, v)の類似度推定を順番に行い、推定結果estimate__e(u, v)をcalc__e(u, v)として記憶する。同時に、calc__e(u, v)を最小化する(u, v)の検出も同時に行い、S706で、最終的に得られた(u, v)をマッチング結果として出力する。

[0039] [類似度推定]

類似度の推定方法を説明する。図3のように、テンプレート画像と参照画像から計算される類似度に局所最小値が存在し、かつ、最類似画像における類似度計算が間引かれた場合でも誤検出が生じないように、精度よく推定することが必要である。このとき問題になるのは、極小点付近で類似度が急激に変化することである。極小点から見て左側と右側では、類似度が異なる勾配を持つために、線形補間やスプライン補間など、曲線の滑らかさを仮定する補間方法では、効果的な推定が難しい。

[0040] そこで本発明は、推定される点から見て異なる方向に位置する画像領域の類似度からは、別々に補間を行うことで、極小点における勾配不連続性の問題を回避する。より具体的には、複数の方向から独立に求められる類似度の勾配を利用して、補間値もしくは補間曲線を外挿する手順と、得られた複数の補間結果を組み合わせる最終的な推定値を決定する手順の2段階で類似度推定を行うことで、検出精度を高める。ここで、複数の方向とは、左、右、上、下などの片方向を指す。左側と右側での勾配の対象性は仮定しない。それぞれの方向別の補間処理では、類似度の勾配が滑らかに変化するとして、線形補間やスプライン補間など一般的な手法で補間する。

[0041] 例えば、図3において、大きい黒丸が付いていない点の類似度を、各点からみて左側に位置する黒丸の類似度と、右側に位置する黒丸の類似度とから別々に補間曲線を求め、得られた2つの補間曲線の交点を類似度推定値とする。これにより、右側の極小点の類似度の推定値は、左側の類似度よりも小さくなり、類似度計算の間引きによる誤検出を生じなくすることができる。

[0042] 以下に、類似度推定の手順を詳細に説明する。本発明では、参照画像領域(u, v)における類似度e(u, v)の推定値estimate__e(u, v)を、(u, v)近傍における類似

度の補間曲線、または (u, v) における補間値 $I(u, v; m)$ を M 個($M \geq 2$)求める手順と、得られた補間曲線もしくは補間値 $I(u, v; m)$ から推定値 $estimate_e(u, v)$ を求める手順の2段階で、決定する。ここで、 m は補間曲線もしくは補間値に付けられた識別番号である。各々の $I(u, v; m)$ ($m \leq M$)を生成するため使う補間値は、 (u, v) から見て異なる方向に位置する参照画像領域の補間値であるとする。

[0043] 図8は具体例である。図において格子1マスが1画素に対応する。ここで、参照画像領域 P の類似度推定値 $estimate_e(P)$ は、まず、参照画像領域 $A11$, $A12$ の類似度 $calc_e(A11)$, $calc_e(A12)$ から $I(P; 1)$ を求め、次に、 $calc_e(A21)$, $calc_e(A22)$ から $I(P; 2)$ を求め、最後に $I(P; 1)$ と $I(P; 2)$ から、 $e(P)$ の推定値 $estimate_e(P)$ を決定する。ここで、 $A11$, $A12$ と $A21$, $A22$ を P から見たとき、その位置する方向は $A11$, $A12$ と $A21$, $A22$ で逆になっていることに注意する。

[0044] 参照画像領域 Q の類似度推定は、 P の推定と同様である。参照画像領域 $B11$, $B12$ の類似度から $I(Q; 1)$ を計算し、次に $B11$, $B12$ と別の方向に位置する $B21$, $B22$ の類似度から $I(Q; 2)$ を計算する。最後に、 $I(Q; 1)$ と $I(Q; 2)$ から、 $estimate_e(Q)$ を決定する。

[0045] 参照画像領域 R の類似度推定は、4個の補間値を計算する例である。 R の周囲に位置する8点を方向別に4組に分け、それぞれの2つの類似度から R における類似度を補間する。具体的には、 $I(R; 1)$ を $C11$, $C12$ の類似度から、 $I(R; 2)$ を $C21$, $C22$ から、 $I(R; 3)$ を $C31$, $C32$ から、 $I(R; 4)$ を $C41$, $C42$ の類似度から補間する。このように求まった4つの補間値 $I(R; 1)$, $I(R; 2)$, $I(R; 3)$, $I(R; 4)$ から、最終的な推定値 $estimate_e(R)$ を決定する。

[0046] (u, v) の類似度に対する個々の補間曲線もしくは補間値 $I(u, v; m)$ は、 (u, v) および補間に用いる参照画像領域が存在する領域内で、類似度 $e(u, v)$ が連続かつ緩やかに変化する勾配を持つことを仮定して算出する。補間方法は、線形補間やスプライン補間など、連続関数を補間するために一般的に知られている手法を利用する。

[0047] 図1は、参照画像領域 P の類似度を $A11$, $A12$, $A21$, $A22$ の類似度から補間推定する方法の一例を示すグラフである。グラフにおいて、横軸は、参照画像領域の座

標 u を示し、縦軸は類似度を示す。黒丸は計算された類似度 $\text{calc_e}(u, v)$ である。 $I(P;1)$ は $A11$, $A12$ から線形補間した曲線であり、 $I(P;2)$ は $A21$, $A22$ から線形補間で求めた曲線である。 $I(P;1;P)$ および $I(P;2;P)$ は2つの補間曲線が P で取る値を示し、 $I_{is}(P)$ は2曲線の交点上の類似度を示す。

[0048] 具体例として、 $A12$, $A11$, $A21$, $A22$ が等間隔で配置され、かつ P が $A11$ と $A22$ の間の中央に位置する場合に、 $I(P;1;P)$ と $I(P;2;P)$ は、数式2, 3, 4のようになる。数式4において $(e_2 - e_1)$ は、 $A12$ と $A11$ から求められる類似度の勾配である。これに、 $P - A11$ 間の距離と $A11 - A12$ 間の距離の比 $1/2$ をかけたものを e_1 から引くことで、 P における左側からの補間値を決定している。位置間隔が異なる場合は、数式4の係数を P , $A11$, $A12$ 間の距離比に応じて変更する。

[数2]

$$I(P;1;P) = f_1(\text{calc_e}(A11), \text{calc_e}(A12))$$

[数3]

$$I(P;2;P) = f_1(\text{calc_e}(A21), \text{calc_e}(A22))$$

[数4]

$$f_1(e_1, e_2) = e_1 - \frac{e_2 - e_1}{2}$$

[0049] P における類似度の推定値を、補間曲線 $I(P;1)$, $I(P;2)$ が P 近傍でとる値から決定する。その方法も多様ではあるが、例えば、 $I(P;1;P)$ と $I(P;2;P)$ の最大値 $I_{\max}(P)$ 、最小値 $I_{\min}(P)$ 、平均値 $I_{\text{ave}}(P)$ を推定量とするのが一つの方法である。あるいは、 $I_{\max}(P)$ と $I_{\min}(P)$ の線形和 $I_{\text{mix}}(P)$ で推定値を表現するのも一つの方法である。これらを、数式5から数式8に示す。

[数5]

$$I_{\max}(P) = \max\{I(P;1)(P), I(P;2)(P)\}$$

[数6]

$$I_{\min}(P) = \min\{I(P;1)(P), I(P;2)(P)\}$$

[数7]

$$I_{\text{ave}}(P) = \frac{I_{\max}(P) + I_{\min}(P)}{2}$$

[数8]

$$I_{\text{mix}}(P; \theta) = (1 - \theta)I_{\max}(P) + \theta I_{\min}(P)$$

[0050] Pにおける補間値ではなく、Pに対し補間した2つの曲線の交点における類似度 I_{IS} (P)を推定値とするのも一例である。具体例として、A12, A11, A21, A22が等間隔に位置する場合に、左右から線形補間した直線の交点を計算することで、数式9、10で示す推定値が与えられる。

[数9]

$$I_{is}(P) = f_2(\text{calc_e}(A11), \text{calc_e}(A12), \text{calc_e}(A21), \text{calc_e}(A12))$$

交点がA11とA12の間に存在する場合

$$I_{is}(P) = \frac{\text{calc_e}(A11) + \text{calc_e}(A21)}{2}$$

交点がA11とA12の間に存在しない場合

[数10]

$$f_2(a, b, c, d) = \frac{3ac + bd - 2ad - 2bc}{a + c - b - d}$$

[0051] 図8のRのように、4個の補間曲線 $I(R;1)$, $I(R;2)$, $I(R;3)$, $I(R;4)$ から推定値を決定する方法としては、例えば、4つの補間曲線のPにおける値 $I(R;1)(P)$, $I(R;2)(P)$, $I(R;3)(P)$, $I(R;4)(P)$ を値の大きい順に並び替えて $I_{\text{sort}}(R;1)$, $I_{\text{sort}}(R;2)$, $I_{\text{sort}}(R;3)$, $I_{\text{sort}}(R;4)$ とし、これら4つの値を比率 $(1 - \theta_1 - \theta_2 - \theta_3) : \theta_1 : \theta_2 : \theta_3$ を線形和で混合した $I_{\text{mix}}(R)$ で表す方法がある(数式11)。

[数11]

$$I_{\text{mix}}(R; \theta_1, \theta_2, \theta_3) = (1 - \theta_1 - \theta_2 - \theta_3)I_{\text{sort}}(R;1) \\ + \theta_1 I_{\text{sort}}(R;2) + \theta_2 I_{\text{sort}}(R;3) + \theta_3 I_{\text{sort}}(R;4)$$

[0052] 以上で説明したように、類似度推定を行うことで、図3に示すように類似度が複数の極小値を持ち、極小点付近で勾配が大きく変化する補間の難しい例でも、実際の値に近い推定が可能になるため、結果として、誤検出確率を小さくすることが可能である。

[0053] [誤検出防止用の補間推定値丸め]

ノイズを含む画像を用いて計算された類似度から推定処理を行うと、誤検出確率が高まることがある。例えば、図1の例において、Pが類似度を最小値する参照画像領域ではないときに、A12とA11における類似度の差がノイズの影響で大きくなると、Pにおける類似度が実際の値よりも小さく推定され、結果的にPをマッチング領域として誤検出する確率が高まる。特に、この現象は、類似度変化が少ない平滑な画像で問題である。そこで、ノイズ混入による誤った推定を防ぐために、補間曲線の勾配に制約を加えて、極端に小さい補間値が出ないようにする。

- [0054] 具体的には、参照画像領域Pにおけるm番目の補間曲線 $I(P;m)$ に対し、その勾配を一定値以下に制約し、数式12の $I'(P;m)$ を類似度補間に用いる。数式12において、 $I(P;m;Q)$ は、Pの近傍に位置する参照画像領域Qにおける補間値を表す。 A_{m1} は補間に利用した近傍の参照画像領域とし、 $\|Q - A_{m1}\|$ はQ、 A_{m1} 間の距離を示す。 $\text{clip_thresh}(P, A_{m1})$ は、 $e(A_{m1})$ と $\text{estimate_e}(P)$ の差分の上限値であり、これを PA_{m1} 間の距離 $\|P - A_{m1}\|$ で割ったものが、勾配の上限である。
- [数12]

$$I'(P;m;Q) = \max \left\{ \begin{array}{l} I(P;m;Q), e(A_{m1}) \\ -\|Q - A_{m1}\| \times \frac{\text{clip_thresh}(P, A_{m1})}{\|P - A_{m1}\|} \end{array} \right\}$$

- [0055] マッチングを安定化させるために、複数個の補間曲線毎に勾配を制限するのではなく、最終的な推定値 $\text{estimate_e}(P)$ を丸める方法をとっても類似した効果が得られる。数式13の $\text{estimate_e}'(P)$ は、その具体的表現である。数式13において、Mは補間曲線の個数である。

[数13]

$$\begin{aligned} \text{estimate_e}(P) = & \max \{ \text{estimate_e}(P), \\ & e(A_{11}) - \text{clip_thresh}(P, A_{11}), \\ & \dots, \\ & e(A_{M1}) - \text{clip_thresh}(P, A_{M1}) \} \end{aligned}$$

[0056] この丸め閾値clip_thresh(P, A)には固定値を設定しても良いが、入力画像特性によって最適値が異なる。本実施形態では、以下の考察に基づいて丸め閾値を決定する。

[0057] lip_thresh(P, A)は、e(A)とe(P)の差分の最大値を示している。画像領域Pの類似度を推定する目的は、Pがテンプレート画像に類似するか検査するためであるから、画像領域Pがテンプレート画像に類似している場合に取得するe(A)とe(P)の差分を設定すると、マッチングを安定化できると考えられる。

[0058] 類似度e(P)の定義を拡張し、テンプレート画像領域と同じ形状を持つ任意の画像領域Pと画像領域Q間のマッチングを評価する量を定義し、e(P, Q)とする。(注釈：これは、本発明の考え方を示すために定義するものあるから、実際にe(P, Q)を定義できなくても良い。)図9に、参照画像上の領域P、Aおよびテンプレート画像Sの関係を示す。

[0059] e(P, Q)は、画像領域間の距離とみなせるから、三角不等式より、数式14の関係が成り立つ。e(S, P), e(S, A)が類似度に等しいことを考慮すると、これは数式15に変形できる。ここで、画像領域Pがテンプレート画像にマッチングする状況を仮定すると、PA間の距離e(P, A)は、テンプレート画像Sとテンプレート画像Sを補間方向(P→A)にずらした画像S_(A-P)の間の距離e(S, S_(A-P))で近似できる。数式16は、e(S, T)がe(A)とe(P)の差分の上限を近似的に与えることを示している。

[数14]

$$e(S, P) + e(P, A) \geq e(S, A)$$

[数15]

$$e(A) - e(P) \leq e(P, A)$$

[数16]

$$e(A) - e(P) \leq e(P, A) \cong e(S, T)$$

[0060] そこで本実施形態では、画像領域Pにおける類似度をAからの補間する際の丸め閾値clip_thresh(P, A)を、AからPを引いた差分ベクトル(du, dv)と同じ方向、もしくは反対方向に移動させたテンプレート画像と、テンプレート画像から計算される類似度をもとに決定する。

[0061] 図8のPの補間では、例えば数式17のように閾値を定める。 $\lambda_0, \lambda_1 (> 0)$ は調整用のパラメータである。テンプレート画像を並行移動した領域T内の画素が部分的にしか取得できない場合は、計算可能な一部の画素から $e(S, T)$ を求め、その値を定数倍するなどの方法で補正する。なお、SからTへのテンプレート画像ずらし量は、ずらす方向が(du, dv)と同じもしくは反対方向である限り、(du, dv)に等しい必要はなく、この場合はSとT間の距離とPとA間の距離の比に応じてパラメータ λ_1 を調整する。数式18に示すclip_thresh2は、類似度として数式1に示した e_{MAD} を使用する場合の具体例である。

[数17]

$$\text{clip_thresh1}(P, A) = \max\{0, -\lambda_0 + \lambda_1 e(S, T)\}$$

[数18]

$$\begin{aligned} & \text{clip_thresh } 2(du, dv) \\ &= \max \left\{ 0, -\lambda_0 + \frac{\lambda_1}{|R|} \sum_{(i,j) \in E} |S(i+du, j+dv) - S(i, j)| \right\} \end{aligned}$$

[0062] このような丸め閾値clip__threshは、補間方向ベクトル(du, dv)とテンプレート画像S(i, j)の関数となっており、参照画像W(i, j)を式に含まない。このため、丸め閾値の計算は、テンプレートマッチング開始時に1回だけ実行するだけでよく、参照画像領域の位置を変える毎に再計算する必要はない。

[0063] [まとめ]

以上、説明したように、本実施形態は、類似度の計算を疎な位置間隔で間引き、類似度が計算されない位置における類似度は周囲の参照画像領域に対する類似度から補間により推定することで、検出精度の低下を最小限に抑えながら計算量を削減する。

[0064] このとき、類似度の勾配が極小点付近で大きく変化する性質を考慮して、補間点から見て複数の方向別に独立に求められる勾配を利用して補間曲線もしくは補間値を求め、得られた複数の補間結果から類似度を決定する手順で推定することで、誤検出確率を小さくしている。

[0065] また、本実施形態は、テンプレート画像を補間方向と同じもしくは反対方向にずらした画像と、テンプレート画像の類似度の大小から前記丸め閾値を定め、類似度の補間値もしくは推定値の値域を、近傍の類似度から前記閾値を引いた値より下回らないように制限することで、入力画像へのノイズ混入による類似度推定誤りを防いでいる。

[0066] 本実施形態は、多段探索法に基づくテンプレートマッチングの1段目マッチングで用いると、計算量削減と検出精度の両立において、高い効果が得られる。例えば、1段目マッチングにおいて、図5(a)のG(1)に属する参照画像領域の類似度を計算する多段探索法と比較すると、本実施形態はG(2), G(3), G(4)の類似度を推定

するため、類似画像領域の誤検出確率が小さくなる。従来の多段探索法に比べて増加する計算量は、類似度推定であるが、これは類似度を画像から正確に計算する場合の負荷に比べればわずかである。

[0067] <実施形態2>

本発明の第2実施形態を説明する。第2実施形態におけるテンプレートマッチング方法は、計算量削減のため類似度計算に縮小画像を用いる点と、その結果類似度の定義と丸め閾値の計算方法が異なる点を除いて、第1実施形態と変わらない。よって、第1実施形態との差分のみを説明する。

[0068] 画像の縮小比率は、説明簡略化のため、縦横ともに1/2の縮小比率である場合だけを想定する。テンプレート画像 $S(i, j)$ 、参照画像 $W(i, j)$ を縮小することで作成された画像を、 $S_2(i, j)$ 、 $W_2(i, j)$ で表す。縮小後の座標 (i, j) に対応する画素は、縮小前の座標 $(2i, 2j)$ に対応するとする。

[0069] テンプレート画像と参照画像領域 (u, v) 間の類似度を、第1実施例と同様に $e(u, v)$ で表す。座標 (u, v) は、縮小画像上の座標ではなく、縮小前の画像上の座標値を示すとする。本実施形態では、参照画像領域 (u, v) の類似度を縮小画像 $S_2(i, j)$ 、 $W_2(i, j)$ から計算する。数式19における $e_{MAD2}(2u, 2v)$ は、 $e(u, v)$ の一例である。ここで、 u 、 v はともに偶数であるとし、 u もしくは v が奇数の場合は定義しない。集合 R_2 は、縮小されたテンプレート画像内で、差分を評価する画素の集合とする。

[数19]

$$e_{MAD2}(u, v) = \frac{1}{|R_2|} \sum_{(i, j) \in R_2} \left| S_2(i, j) - W_2\left(\frac{u}{2} + i, \frac{v}{2} + j\right) \right|$$

[0070] 類似度を計算する (u, v) と、類似度を補間推定する (u, v) の分類は、図5(a)のボタンとする。升目1マスは、縮小前画像における1画素に対応する。 $G(1)$ に属する (u, v) については、 u も v も偶数であり、数式19の $e_{MAD2}(u, v)$ が計算可能である。 $G(2)$ 、 $G(3)$ 、 $G(4)$ が属する (u, v) については、本発明の推定手順に従って求めた類似度の値を、 (u, v) における類似度 $e(u, v)$ とみなすことにする。

[0071] 類似度の推定方法は関しては、類似度の定義の差異を除き、第1実施形態と同じ方法で推定するのが実施の一例である。また、別の例として、丸め閾値clip__thresh(du, dv)を、縮小されたテンプレート画像S2(i, j)から計算してもよい。数式20のclip__thresh3に、その例を示す。clip__thresh3(du, dv)は、縮小テンプレート画像を(du, dv)だけずらした画像とテンプレート画像の差から計算されるが、縮小画像における(du, dv)のずらし量は、縮小前画像において2倍になるため、得られた差分の平均を1/2倍する補正を行っている。

[数20]

$$\begin{aligned} & \text{clip_thresh3}(du, dv) \\ &= \max \left\{ 0, -\lambda_0 + \frac{1}{2} \frac{\lambda_1}{|R_2|} \sum_{(i,j) \in R_2} |S_2(i+du, j+dv) - S_2(i, j)| \right\} \end{aligned}$$

[0072] 以上説明した事項を除き、第2実施形態のテンプレートマッチング方法は、第1実施形態のマッチング方法と同じ手順に基づいて行われる。

[0073] 効果も第1実施形態と同様であるが、縮小画像を用いるため、第1実施形態に比較して類似度の計算量が小さくなる。本実施形態は、縮小画像を用いた多段テンプレートマッチングの1段目マッチングで用いると、効果的である。

[0074] <実施形態3>

本発明の第3実施形態を、第1実施形態との差分を示す方法で説明する。

[0075] 第3実施形態におけるテンプレートマッチング方法は、0.5画素精度でマッチング画像領域を推定する。従って、第1実施形態と異なり、参照画像領域の座標(u, v)は0.5画素単位の値をとる。類似度は、例えば数式1に示すeMAD(u, v)であるとする。参照画像W(i, j)を0.5画素単位で参照する必要があるが、これはテンプレートマッチングの使用目的に合わせ、適切な方法で内挿された画素を定義する。

[0076] 第3実施形態において、類似度を計算する(u, v)と、類似度を補間推定する(u, v)の分類は、図5(a)で示すパターンとする。ただし、第1実施例と異なり、格子1マスが1画素ではなく0.5画素分に相当するとし、G(1)に属する(u, v)が整数の座標値を

持つとする。すなわち、本実施形態においては、 u 、 v ともに整数である参照画像領域に対し類似度を計算し、 u 、 v のどちらかに非整数の座標を持つ参照画像領域に対しては、類似度を補間推定する。

- [0077] 類似度の推定方法は、丸め閾値 clip_thresh の計算を除き、第1実施形態と同じとする。 $\text{clip_thresh}(du, dv)$ の計算については、数式18の clip_thresh2 と同じ定義にもとづき計算するのが一つの方法である。このとき、 (du, dv) が整数未満の座標値であるため、テンプレート画像 $S(i, j)$ を0.5画素単位で参照する必要があるが、 $W(i, j)$ のと同様の方法で $S(i, j)$ を内挿する。他の計算方法としては、数式21の $\text{clip_thresh4}(du, dv)$ のように、 (du, dv) を2倍することで、整数座標の画素を参照するように変更した計算式にもとづき、閾値を計算する。

[数21]

$$\begin{aligned} & \text{clip_thresh4}(du, dv) \\ &= \max \left\{ 0, -\lambda 1 + \frac{1}{2} \frac{\lambda 2}{|R|} \sum_{(i,j) \in R} |S(i+2du, j+2dv) - S(i, j)| \right\} \end{aligned}$$

- [0078] 以上説明した事項を除き、第3実施形態のテンプレートマッチング方法は、第1実施形態のマッチング方法と同じ手順に基づいて行われる。
- [0079] 本実施形態は、0.5画素精度のテンプレートマッチングを、1画素精度テンプレートマッチングと同じ、少ない類似度計算回数で実現でき、1画素精度で粗くテンプレートマッチングを行う方法に比較して、高い精度のマッチングが可能である。1段目で整数精度のマッチングを行い、2段目で0.5画素精度のマッチングを行うような、多段探索法の1段目マッチングに、本実施形態を適用すると、効果的である。

実施例 1

- [0080] 本発明の第1実施例として、縮小画像を用いた2段の多段探索法に基づくテンプレートマッチング処理において、その1段目マッチング処理に、本発明にもとづくテンプレートマッチング方法を利用した実施例を説明する。
- [0081] 本実施例において、テンプレート画像は $S(i, j)$ 16×16 画素の矩形であり、座標 i ,

j の範囲は0以上16未満の整数とする。参照画像 $W(i, j)$ は 48×48 画素の矩形であり、座標 i, j の範囲は -16 以上 32 未満の整数とする。参照画像領域 (u, v) の範囲は、 u, v ともに -16 以上 16 以下の整数であるとする。参照画像領域の個数は $33 \times 33 = 1089$ 個である。

[0082] 1段目マッチングでは、縦横 $1/2$ に縮小した 8×8 のテンプレート画像 $S2(i, j)$ と、同じ比率で縮小した 24×24 の参照画像を用いて、類似度を最小化する画像領域を検出する。図10は、本実施例における参照画像領域 (u, v) を格子模様のマス目で示した模式図である。この図において1とラベルされた参照画像領域に対し類似度が計算され、次に、2、3とラベルされた参照画像領域に対しては、類似度が補間推定される。

[0083] 具体的なマッチングの手順は、参照画像領域の分類が図10に従う点を除き、第2実施形態で説明した方法と同様であるとする。類似度は、数式19で定義されたものとする。集合 $R2$ には、 8×8 のテンプレート画像が含む画素全てが属するとする。類似度の補間は、図8の参照画像領域 P, Q と同様の位置関係にある参照画像領域の類似度から行い、数式2、数式3、数式4、数式7で示した式に従って補間値を推定する。補間値の丸めは、数式13および数式20に従う。

[0084] 2段目マッチングでは、縮小前の画像を用いて類似度を正確に計算しながら、1段目で検出した画像領域の周辺を1画素おきに探索する。探索範囲は、1段目のマッチング結果からの差分が、縦横ともに -1 以上 1 以下となる9点とする。類似度は数式1で定義されたものとする。

[0085] 図11は本実施例の構成を示すブロック図である。1101に参照画像を、1102にテンプレート画像を入力する。入力された2つの画像は、1103で縦横 $1/2$ に縮小され、1104に縮小参照画像が、1105に縮小テンプレート画像が格納される。1106は、1104の縮小参照画像と1105の縮小テンプレート画像から1段目のテンプレートマッチング処理を行い、1107に検出された参照画像領域の座標 (u, v) を出力する。1107は、1101の参照画像と1102のテンプレートが元画像から2段目のテンプレートマッチング処理を行い、最終的なマッチング結果を示す参照画像領域の座標 (u, v) を外部に出力する。

- [0086] 本実施例の効果を比較により示す。比較する方式としては、全探索法を適用した従来例Aと、多段探索法にもとづく従来例Bを用意する。従来例Bは、本実施例と類似した手順でマッチングが行われ、本実施例とは1段目マッチング処理だけが異なる。従来例Bでは、1段目マッチングにおいて類似度の推定を行わず、図10において「1」とラベルされた参照画像領域に対してのみ、類似度が計算される。
- [0087] 計算量の比較を示す。テンプレートマッチングに要する計算量を、画素の差分計算の回数で集計した結果を図12に示す。この集計において、縮小前画像による類似度計算1回あたり256回、縮小画像による類似度計算1回あたり64回、縮小画像を用いた丸め閾値計算1回あたり64回の差分計算が行われるとした。その他の評価値の推定処理、最小値検出処理や、画像縮小の計算量は含んでいない。この結果からは、本実施例は、多段探索法に基づく従来例2とほぼ変わらない計算量であり、全探索法に基づく従来例1に比較して13分の1未満の計算量しか必要としないことが分かる。
- [0088] マッチング精度の実験により比較した結果を示す。本実施例、従来例A、従来例Bのテンプレートマッチングの精度を比較するため、これらのテンプレートマッチング処理を動画像の動き推定に適用した。入力画像は720×480画素、毎秒30フレーム、プログレッシブのモノクロ画像とし、16×16画素のブロック単位で類似度を最小化する画像ブロックを、時間的に1つ前のフレーム内から検出した。マッチング精度の評価するため、テンプレートマッチング処理で得られた類似度最小値をフレーム内で平均したものを指標として用いた。この指標が小さいほど、誤検出の少ないテンプレートマッチングが行われていることを示し、この指標が大きいと誤検出確率が高いことを示す。
- [0089] 図13は、評価動画像13SD_Churchに対する動き推定から得られた類似度平均を示すグラフである。グラフ(a)は、各フレームの類似度平均を示したもので、横軸はフレーム番号を示す。いずれのフレームにおいても実施例Aの類似度平均が最小となるが、それは全探索法であるゆえ誤検出確率が0になるからである。グラフからは、フレームにもよるが、従来例Bによる類似度平均の増大が大きいことが分かる。これに対し、本実施例は従来例Aと大きく変わらない類似度平均を示している。

- [0090] 図13(b)は、従来例Aに対する本実施例と従来例Aの類似度平均の比を示したグラフであり、本実施例と従来例Aの類似度平均の差が顕著に読み取れる。従来例Bで、最大25%程度増大していた類似度平均が、本実施例では5%程度まで抑えられている。このように、本実施例は、多段探索法にもとづく従来例Bに比較してマッチング精度が向上し、全探索法にもとづく従来例Aに近いマッチング精度が得られている。
- [0091] 以上示したように、本実施例では、多段探索法による従来例とほぼ変わらない計算量で、全探索法に近い精度のテンプレートマッチングを実現可能である。
- [0092] 以上説明したように、テンプレート画像とマッチング参照画像領域間の類似度を、疎な位置間隔で間引かれた参照画像領域に限定して実行し、類似度が計算されない位置における類似度を、計算された類似度と推定された類似度から、複数の方向別に独立して求められる勾配を利用して推定するため、少ない計算量でマッチング処理を行えるとともに、従来の多段探索法では
- [0093] 誤検出が生じるような類似度を持つ画像を入力した場合においても、誤検出の確率を防ぐことができる。
- [0094] さらに、前記類似度推定値と、前記推定に利用する周囲の類似度との差又は前記類似度の勾配が、閾値を超えないように、前記類似度推定値の値域を制限する。これにより、参照画像およびテンプレート画像にノイズ成分が加わった場合でも、ノイズに起因する補間推定の誤りを小さくし、マッチングの精度を高めることができる。
- [0095] 前記近傍に位置する参照画像領域の座標から、前記補間対象の参照画像領域の座標を減じることで得られる補間方向ベクトル対して、前記閾値を一意に定義する。これにより、前記閾値を、補間方向ベクトル毎に1回だけ定めればよい。これにより、参照画像領域の位置を変える毎に閾値を設定する必要がなくなり、必要な計算量が削減される。
- [0096] 当該テンプレート画像領域を前記補間方向ベクトルと同じもしくは反対の方向に動かすことで得られる画像領域と、当該テンプレート画像領域との類似度を評価した値を元に、前記閾値を決定する。この方法で決定された閾値は、評価値勾配の大きさの上界を良く近似できるため、参照画像やテンプレート画像にノイズ成分が加わった

場合でも、ノイズに起因するマッチング精度の低下を防ぐことができる。さらに、補間方向ベクトル別に閾値を設定しているため、水平方向と垂直方向で、その周波数特性が異なる画像信号が入力された場合でも、精度の高いマッチングを行うことができる。

[0097] 前記補間による類似度推定を、ある時点までに計算もしくは推定された類似度を、局所的に最小化する参照画像領域の近傍に位置する候補領域に対してのみ実行する。これにより、類似度の推定に必要な計算量を削減することができるので、本発明によるテンプレートマッチングの計算量を一層削減することが可能である。

[0098] 以上説明した方法は、コンピュータがプログラムを記録媒体から読み込んで実行することによっても実現することができる。

請求の範囲

- [1] 参照画像上から、テンプレート画像領域に類似する画像領域の位置を検出するテンプレートマッチング方法であって、
前記テンプレート画像領域に対する前記画像領域の類似度を疎な位置間隔で計算し、
前記類似度が計算されない位置における類似度を、前記計算された類似度から、複数の方向別に独立に求められる類似度の勾配を利用して推定し、
前記類似度の計算値もしくは推定値が小さい位置を、類似する画像領域の位置とすることを特徴とする、テンプレートマッチング方法。
- [2] 前記類似度推定において、前記計算された類似度に加え、その時点までに推定された類似度を利用して、類似度を推定することを特徴とする、請求項1に記載のテンプレートマッチング方法。
- [3] 多段探索法にもとづいて類似画像領域の位置を段階的に絞り込むテンプレートマッチング方法であって、その最終段以前の探索段において、請求項1又は2に記載のテンプレートマッチング方法で類似画像領域の位置を検出することを特徴とする、テンプレートマッチング方法。
- [4] 前記類似度推定値と、前記推定に利用する周囲の類似度との差又は前記類似度の勾配が、閾値を超えないように、前記類似度推定値の値域を制限することを特徴とする請求項1又は2に記載のテンプレートマッチング方法。
- [5] 類似度を推定する位置から、前記近傍画像領域の位置を引くことで得られる推定方向ベクトルに対して、前記テンプレート画像領域を前記推定方向ベクトルと同じもしくは反対の方向に動かして得られる画像領域と、前記テンプレート画像から計算される類似度の大小をもとに、前記閾値を決定することを特徴とする、請求項4に記載のテンプレートマッチング方法。
- [6] 前記類似度推定において、直線上に順に位置する5個の参照画像領域A、B、C、D、Eに対して、前記画像領域A、Bにおける類似度から、勾配連続性を仮定して外挿される補間値と、前記画像領域D、Eにおける類似度から、勾配連続性を仮定して外挿される補間値とから、前記位置Cにおける類似度を推定することを特徴とする、

請求項1乃至5の何れか1項に記載のテンプレートマッチング方法。

- [7] 参照画像上から、テンプレート画像領域に類似する画像領域の位置を検出するテンプレートマッチング装置であって、
- 前記テンプレート画像領域に対する前記画像領域の類似度を疎な位置間隔で計算する手段と、
- 前記類似度が計算されない位置における類似度を、前記計算された類似度から、複数の方向別に独立に求められる類似度の勾配を利用して推定する手段と、
- 前記類似度の計算値もしくは推定値が小さい位置を、類似する画像領域の位置とする手段と、
- を備えることを特徴とする、テンプレートマッチング装置。
- [8] 前記類似度推定において、前記計算された類似度に加え、その時点までに推定された類似度を利用して、類似度を推定する手段を備えることを特徴とする、請求項7に記載のテンプレートマッチング装置。
- [9] 多段探索法にもとづいて類似画像領域の位置を段階的に絞り込むテンプレートマッチング装置であって、その最終段以前の探索段において、請求項7又は8に記載のテンプレートマッチング装置で類似画像領域の位置を検出することを特徴とする、テンプレートマッチング装置。
- [10] 前記類似度推定値と、前記推定に利用する周囲の類似度との差又は前記類似度の勾配が、閾値を超えないように、前記類似度推定値の値域を制限する手段を備えることを特徴とする請求項7又は8に記載のテンプレートマッチング装置。
- [11] 類似度を推定する位置から、前記近傍画像領域の位置を引くことで得られる推定方向ベクトルに対して、前記テンプレート画像領域を前記推定方向ベクトルと同じもしくは反対の方向に動かして得られる画像領域と、前記テンプレート画像から計算される類似度の大小をもとに、前記閾値を決定する手段を備えることを特徴とする、請求項10に記載のテンプレートマッチング装置。
- [12] 前記類似度推定において、直線上に順に位置する5個の参照画像領域A、B、C、D、Eに対して、前記画像領域A、Bにおける類似度から、勾配連続性を仮定して外挿される補間値と、前記画像領域D、Eにおける類似度から、勾配連続性を仮定して

外挿される補間値とから、前記位置Cにおける類似度を推定する手段を備えることを特徴とする、請求項7乃至11の何れか1項に記載のテンプレートマッチング装置。

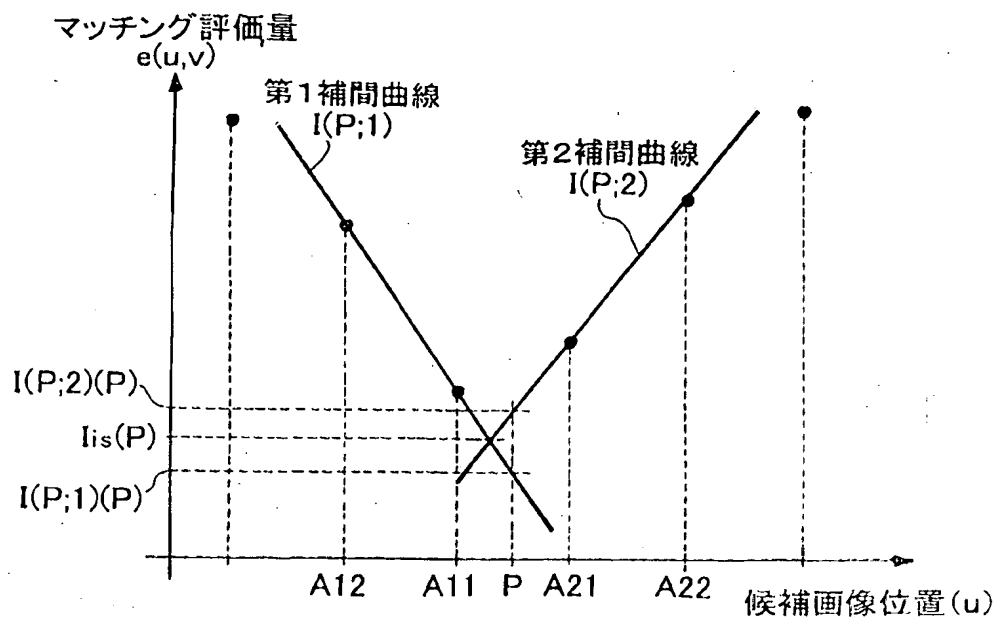
- [13] 参照画像上から、テンプレート画像領域に類似する画像領域の位置を検出するテンプレートマッチング方法をコンピュータに行なわせるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体において、
前記方法では、
前記テンプレート画像領域に対する前記画像領域の類似度を疎な位置間隔で計算し、
前記類似度が計算されない位置における類似度を、前記計算された類似度から、複数の方向別に独立に求められる類似度の勾配を利用して推定し、
前記類似度の計算値もしくは推定値が小さい位置を、類似する画像領域の位置とすることを特徴とする記録媒体。
- [14] 前記類似度推定において、前記計算された類似度に加え、その時点までに推定された類似度を利用して、類似度を推定することを特徴とする、請求項13に記載の記録媒体。
- [15] 多段探索法にもとづいて類似画像領域の位置を段階的に絞り込むテンプレートマッチング方法をコンピュータに行なわせるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体において、
前記方法では、
その最終段以前の探索段において、請求項13又は14に記載の記録媒体に記録されたプログラムがコンピュータに行なわせるためのテンプレートマッチング方法で類似画像領域の位置を検出することを特徴とする、記録媒体。
- [16] 前記方法において、
前記類似度推定値と、前記推定に利用する周囲の類似度との差又は前記類似度の勾配が、閾値を超えないように、前記類似度推定値の値域を制限することを特徴とする請求項13又は14に記載の記録媒体。
- [17] 前記方法において、
類似度を推定する位置から、前記近傍画像領域の位置を引くことで得られる推定

方向ベクトルに対して、前記テンプレート画像領域を前記推定方向ベクトルと同じもしくは反対の方向に動かして得られる画像領域と、前記テンプレート画像から計算される類似度の大小をもとに、前記閾値を決定することを特徴とする、請求項16に記載の記録媒体。

[18] 前記方法において、

前記類似度推定において、直線上に順に位置する5個の参照画像領域A、B、C、D、Eに対して、前記画像領域A、Bにおける類似度から、勾配連続性を仮定して外挿される補間値と、前記画像領域D、Eにおける類似度から、勾配連続性を仮定して外挿される補間値とから、前記位置Cにおける類似度を推定することを特徴とする、請求項13乃至17の何れか1項に記載の記録媒体。

[図1]



[図2]

	1		1		1		1		1		1	
	1		1		1		1		1		1	
	1		1		1		1		1		1	
						2	2	2				
	1		1		1	2	①	2	1		1	
						2	2	2				
	1		1		1		1		1		1	
	1		1		1		1		1		1	
	1		1		1		1		1		1	
	1		1		1		1		1		1	

1 : 1 段目マッチング候補

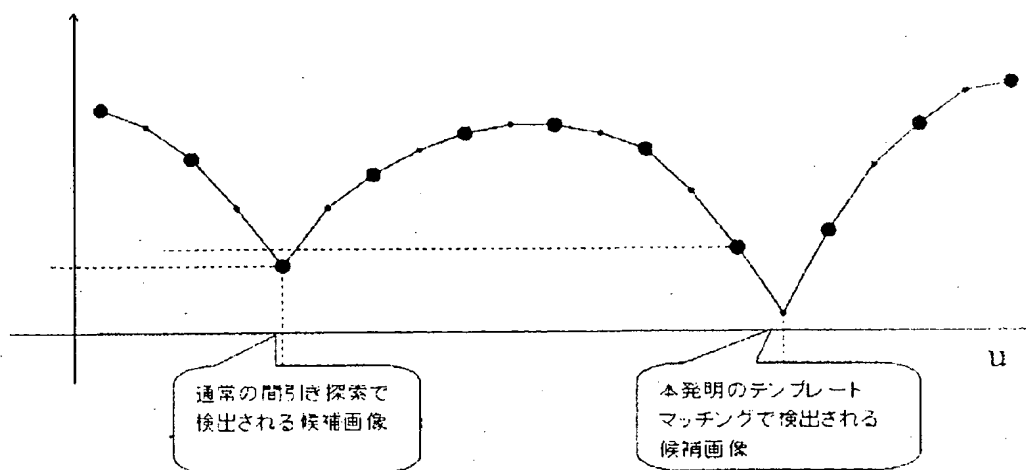
① : 1 段目マッチング結果

2 : 2 段目マッチング候補

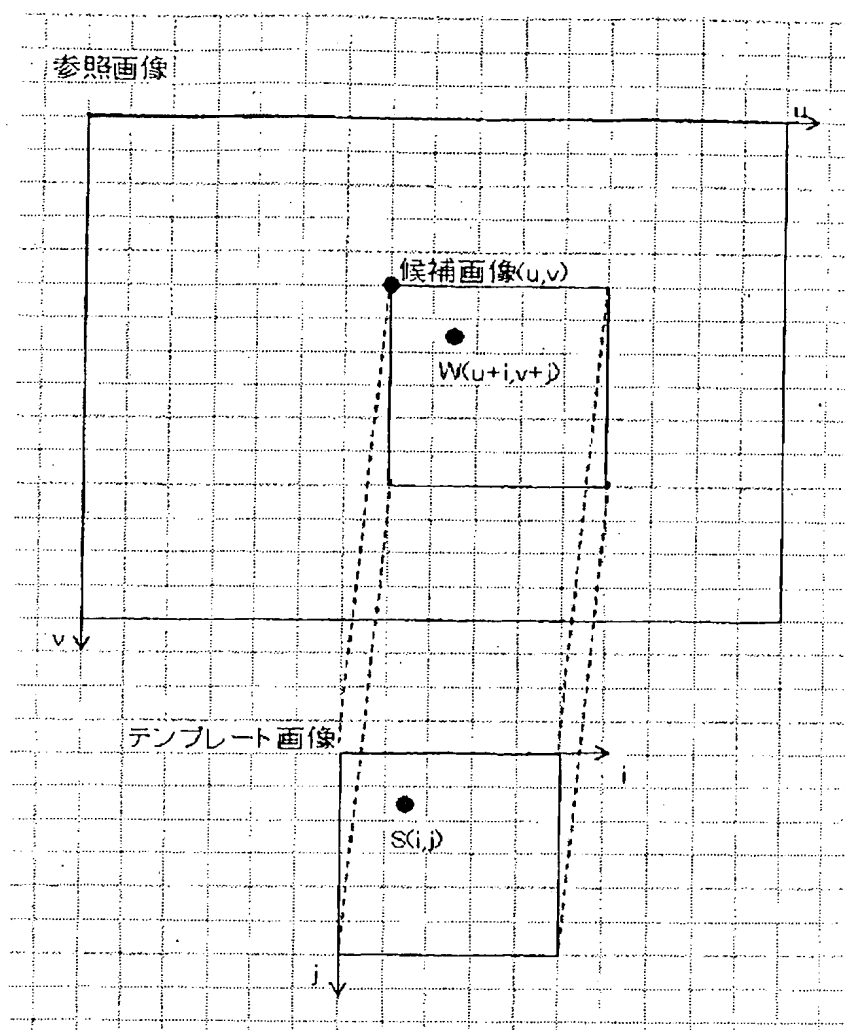
差替え用紙 (規則26)

[図3]

マッチング評価量
 $e(u,v)$



[図4]



[図5]

(a)縦横2画素間隔間引き

1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1
1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1
3		3	4	3	4	3	4	3	4	3		3
1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1
3		3	4	3	4	3	4	3	4	3		3
1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1
3		3	4	3	4	3	4	3	4	3		3
1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1
3		3	4	3	4	3	4	3	4	3		3
1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1
3		3	4	3	4	3	4	3	4	3		3
1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1
1		1	2	1	2	1	2	1	2	1		1

(b)横2画素間隔間引き1

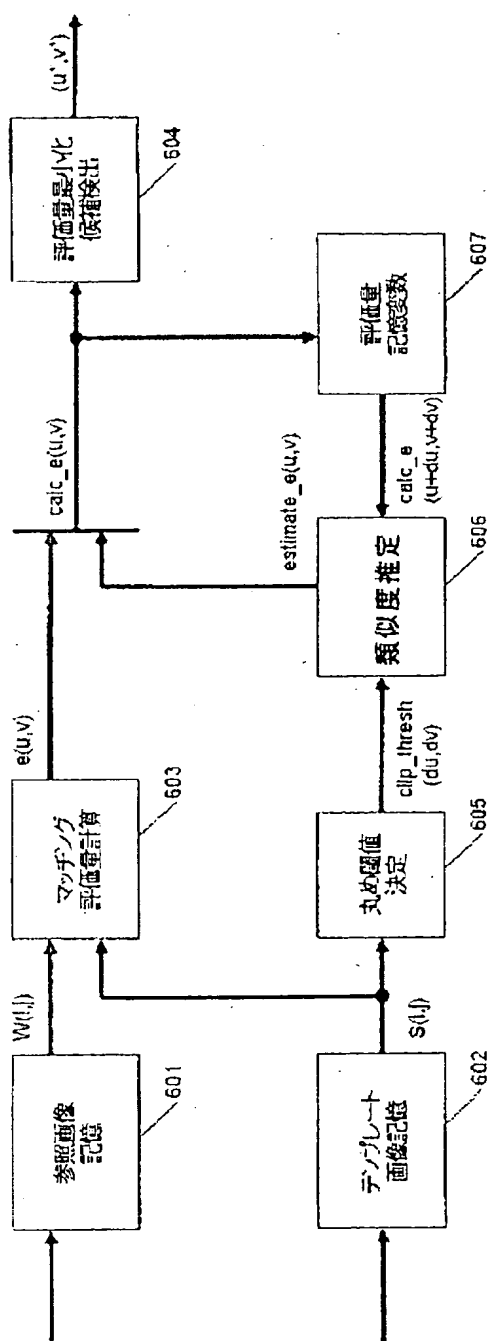
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1

(c)横2画素間隔間引き2

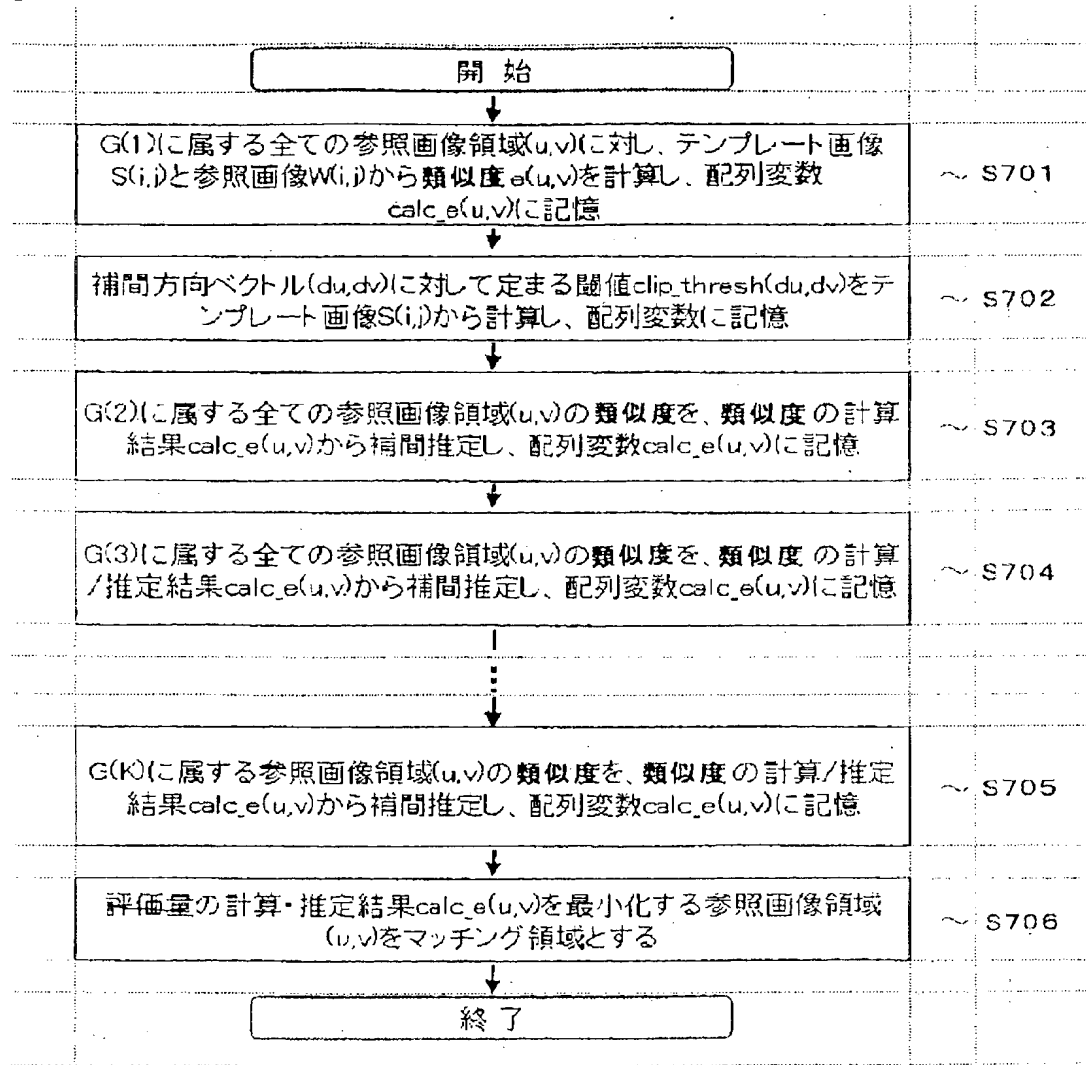
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

差替え用紙(規則26)

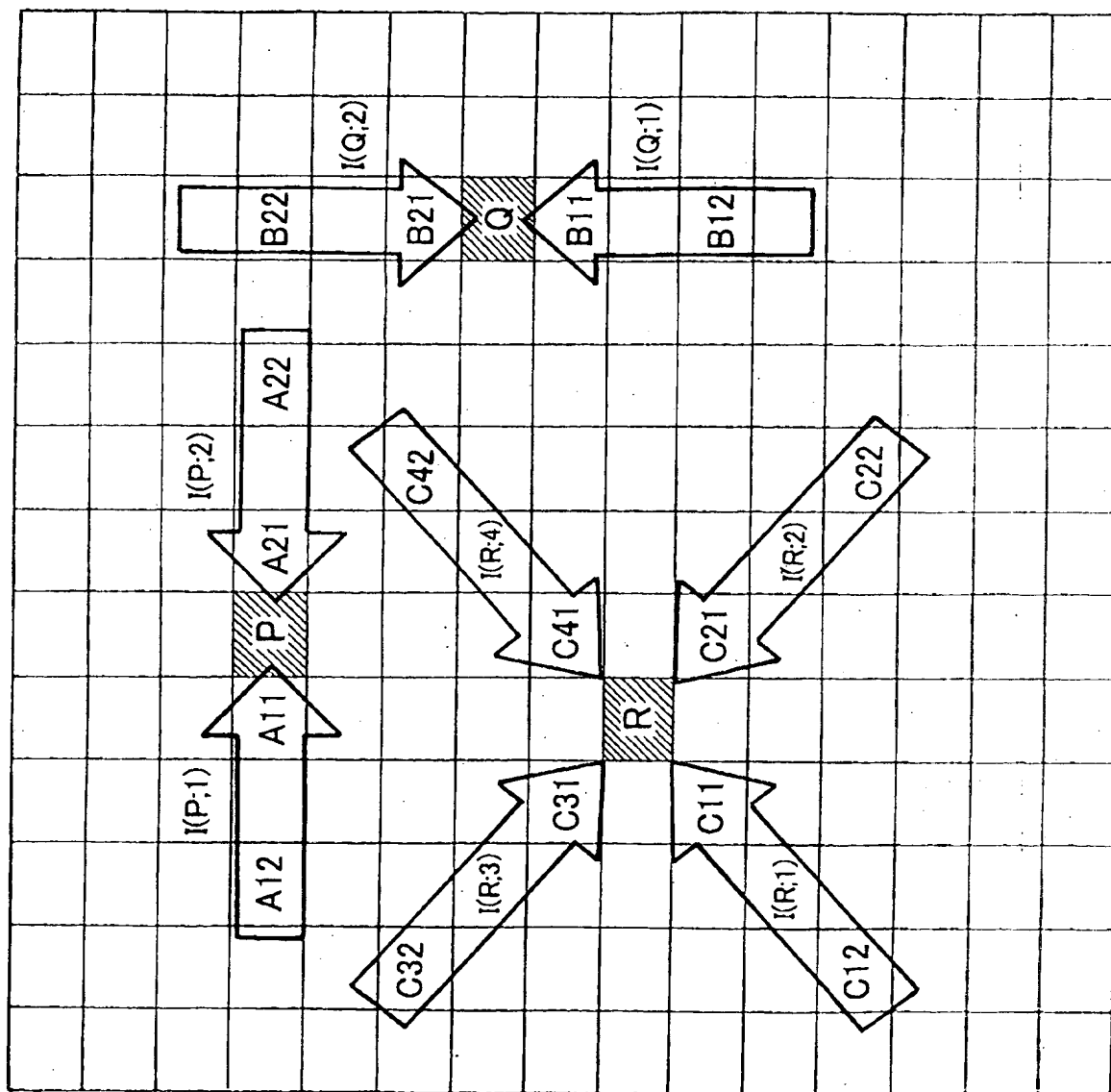
[図6]



[図7]

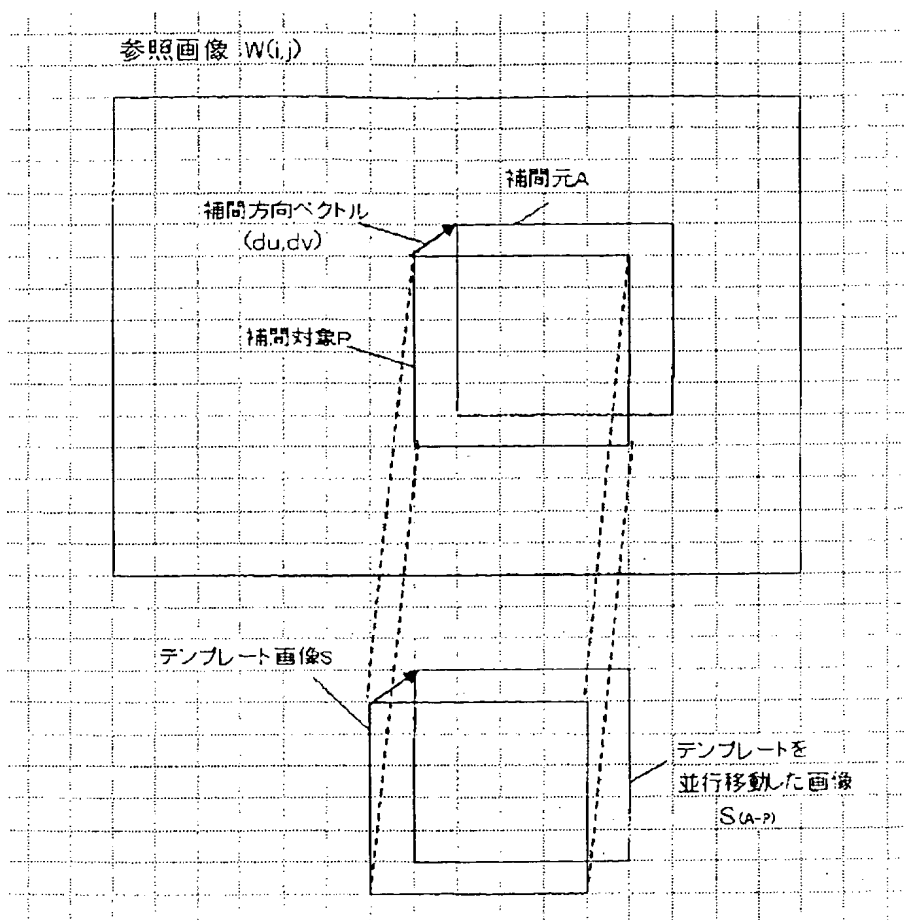


[図8]

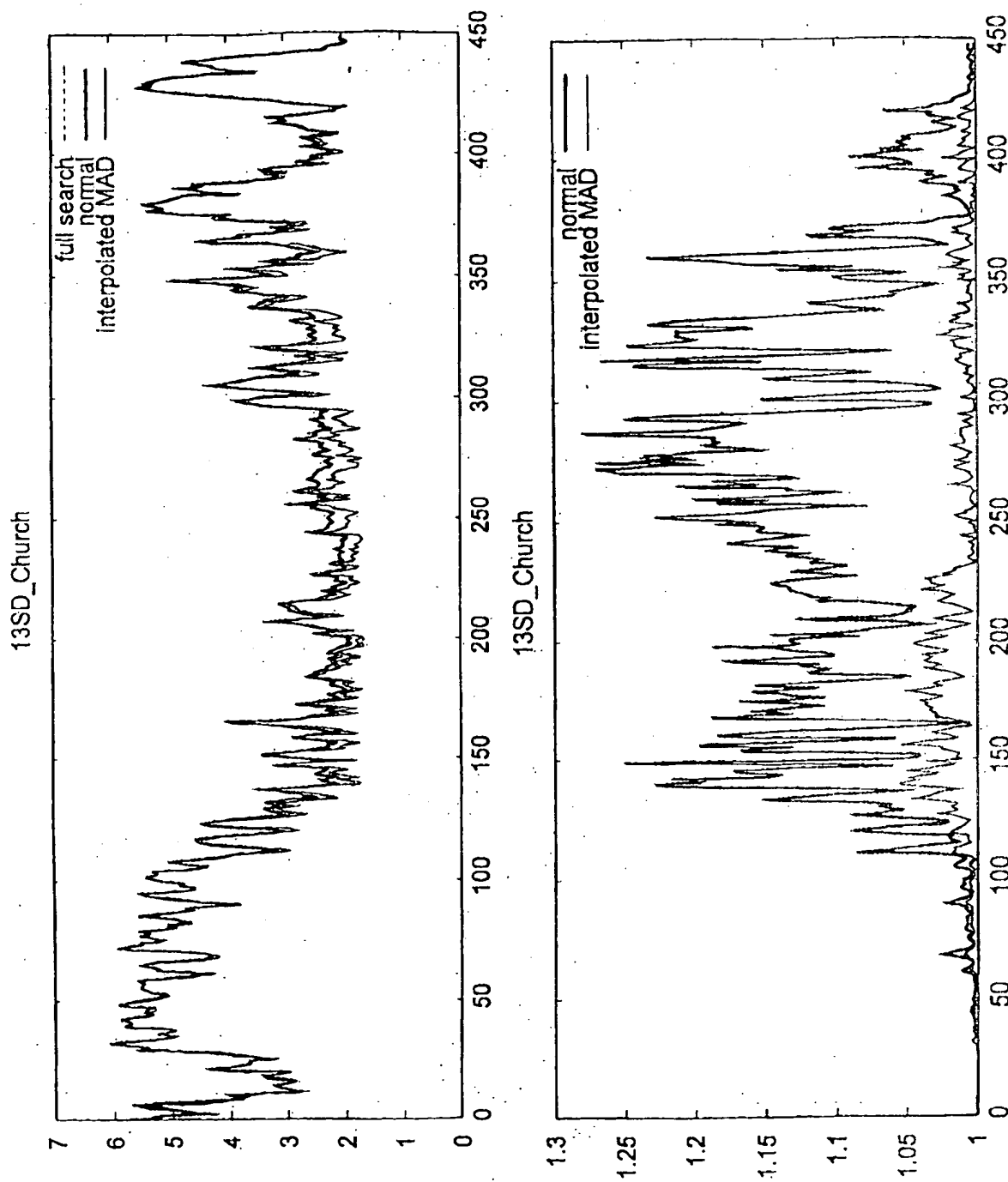


差替え用紙 (規則26)

[図9]



[図13]



差替え用紙 (規則26)

[図14]

